調 5.

東京地区における高強度コンクリートの実状

○伊藤　　司＊１　　前田　正夫＊２

要旨：組合員工場からの超高強度コンクリートの製造に関する管理手法の提示をもとに、
・調合：水セメント比・単位水量・単位セメント量、単位粗骨材量、単位混和剤量、セメント水比と呼び強度の関係
・製造：材料の選定、室内試し練り、実機、品質管理上の留意事項、その他
といった項目での情報・データの取り纏めを行い、使用材料・調合および製造方法といった製造管理手法に関する資料を作成した。

キーワード：コンクリート、超高強度、呼び強度 80 以上、使用材料、調合、製造方法

１．はじめに

建築基準法で定められた指定建築材料に関する告示(平成 12 年 5 月 31 日付け建設省告示第 1446 号）により、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）に規定されていないコンクリートを建築物に使用する場合には、指定性能評価機関において材料性能評価を受け、国土交通大臣の認定を取得することが義務付けられた。

性能評価においては、調合決定のための強度算定式の妥当性、品質管理方法と製造安定性および構造体強度を保証する強度補正値などが審議されるため、数多くの実機試験による実構造物を模擬した試験体から採取したコア強度と管理用供試体の強度発現との比較検討などのデータが必要とされる。このため、実績のない生コン工場で設計基準強度 80N/㎟以上のコンクリートを製造する場合、室内試験による各種要因の影響について確認するとともに、標準期・夏期・冬期の３シーズンでの実機試験体など相当の準備期間が必要となる。

そこで今回、組合員へのアンケート調査を行い、組合員工場における呼び強度 80 以上（以下、超高強度コンクリートという）の製造実績に基づく、使用材料、調合、製造方法といった製造管理手法について情報およびデータを収集し、“超高強度コンクリートへの対応”と題した本資料を作成した。

これらに基づいて作成された本資料を全組合員が共有することにより、

・実績のない工場：超高強度コンクリート製造へのスムーズな対応

・実績のある工場：超高強度コンクリート製造が更にステップアップ

が可能となることを目的に、ワーキンググループとして活動を行った。

２．調査

超高強度コンクリートに関するアンケートの調査期間・調査対象および回答状況は、以下の通り

＊１　東京エスオーシー株式会社（東京地区生コンクリート協同組合技術委員会ＷＧチーフ）
＊２　東京地区生コンクリート協同組合技術部長

である。

・調査期間：平成 18 年 7 月 10 日～21 日

・調査対象：組合員全 69 工場

・回答状況：組合員 19 工場（回答率：28%---出荷製造実績のある資料提示工場）

２．１　調合

調査結果によるセメント種類・呼び強度・スランプフローの各調合での平均単位量は、**表－１**の通りである。

表－１　セメント種類・呼び強度・スランプフローの各調合での平均単位量

ｾﾒﾝﾄの種類	呼び強度	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ(cm)	空気量(%)	水ｾﾒﾝﾄ比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m^3)				ｾﾒﾝﾄ×%
						ｾﾒﾝﾄ	水	細骨材	粗骨材	混和剤[注]
M	80	60	2.0	25.8	46.2	659	170	725	874	1.70
L	80	60	2.0	27.5	45.7	610	168	738	909	1.40
SF	80	60	2.0	27.1	49.9	572	155	829	861	1.65
	100	65	2.0	20.4	44.6	760	155	671	861	1.85
	120	65	2.0	16.3	38.0	951	155	510	861	1.85
	140	70	2.0	13.6	29.7	1,140	155	351	861	2.05
SFP	80	60	2.0	31.8	52.0	487	155	902	861	1.65
	100	65	2.0	20.1	44.3	771	155	663	861	1.85
	120	65	2.0	14.7	33.7	1,054	155	424	861	1.85
VK	80	60	2.0	29.8	49.9	520	155	845	877	1.95
	100	65	2.0	19.9	42.2	779	155	619	877	2.15

注：混和剤量は、単位セメント量×%とする。

なお、セメントの種類に用いた記号の内訳は、以下の通りである。

L：低熱ポルトランドセメント　　M：中庸熱ポルトランドセメント

SF：シリカフュームセメント　　SFP：シリカフュームプレミックスセメント

VK：三成分混合セメント

（１）水セメント比・単位水量・単位セメント量

高強度コンクリートは、水セメント比（以下、W/C という）が小さくなるため必然的に単位セメント量が多くなる。しかし、構造体の耐久性に悪影響を及ぼす水和熱を抑制するため、単位セメント量をできるだけ少なくする必要がある。例えば、単位セメント量が多くなるとコンクリートの粘性の増大によるワーカビリティーの低下や水和発熱量の増大および自己収縮によるひび割れ発生の危険性が高まる。従って、調査結果でも高性能 AE 減水剤あるいは高性能減水剤を用い、単位水量を減らし、結果的に単位セメント量を少なくしている。更に呼び強度 100 を超えるような領域では、水和発熱量低減に流動性をプラスしたセメントを用いている。調査結果による呼び強度別・セメント種類別での W/C・単位水量・単位セメント量の最大値および最小値は、**表－２**の通りである。

表－２　水セメント比・単位水量・単位セメント量の最大値および最小値

セメントの種類	呼び強度 80			呼び強度 100			呼び強度 120		
	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m^3)	単位セメント量 (kg/m^3)	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m^3)	単位セメント量 (kg/m^3)	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m^3)	単位セメント量 (kg/m^3)
M・L	24.0~27.0 (23~27)	165~170	630~688	—	—	—	—	—	—
SF	28.3 (24~28)	155	554	19.4~20.9 (19~21)	138~160	712~784	16.4 (14~18)	155	945
SFP	—	—	—	17.7~21.5 (19~21)	155	721~876	17.5 (14~18)	155	886
VK	27.0~30.0	155	517~575	18.0~21.0	150~155	714~862	—	—	—

注：括弧内は、日本建築学会「高強度コンクリート施工指針(案)・同解説」[1]による設計基準強度での概略値（調合強度の管理材齢 28 日の場合)。

呼び強度と設計基準強度のズレがあるものの W/C および単位水量のいずれも上記による概略値を満足している。

単位水量の決定方法は、顧客指定あるいは室内試し練り・実機によるが、呼び強度 100 を超える領域では火災時の爆裂防止用として繊維を入れるケースも想定し、単位水量を決定している。

また、空気量の設定方法は、AE 剤によりワーカビリティーの改善および凍結融解作用に対する抵抗性を確保できるが、一方、空気量 1%により強度が 4~5%低下すること、都内では凍結もないことから、強度を優先し、呼び強度 100 を超える領域で 1.5%、80~100 で 2%・3%に設定している。

（２）単位粗骨材量

単位粗骨材量は、普通コンクリート同様良好なワーカビリティーが得られる範囲内でできるだけ大きくするのが良く、信頼できる資料などをベースに室内試し練り・実機により定めている。

調査結果による呼び強度別・セメント種類別・スランプフロー別の単位粗骨材かさ容積は、**表－３**の通りである。

表－３　単位粗骨材かさ容積（m^3/m^3）

セメントの種類	80≦呼び強度＜100		100≦呼び強度＜120			120≦呼び強度≦140	
	スランプフロー（cm）						
	60	65	60	65	70	65	70
M・L	0.535~0.591	0.520~0.550	—	—	—	—	—
SF	0.542	0.530	0.528~0.542	0.530~0.580	0.540	—	0.518~0.540
SFP	—	0.529~0.538	—	0.529~0.560	—	0.538	—
VK	0.535~0.581	0.541~0.570	0.535~0.545	0.541~0.562	—	—	—

注：日本建築学会「高強度コンクリート施工指針(案)・同解説」[1]による標準値の範囲

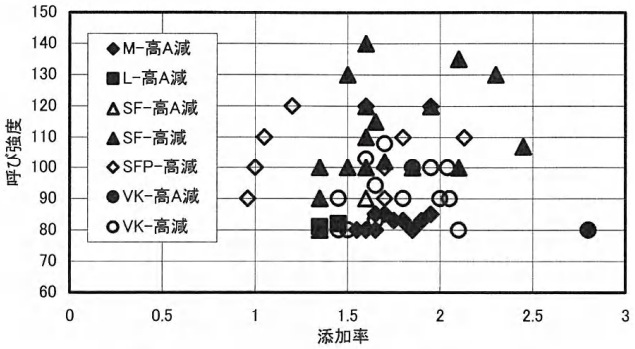
W/C=30%の時、ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ 60 cm：0.53~0.55m^3/m^3、ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ 65 cm：0.52~0.54m^3/m^3

W/C=25%の時、ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ 60 cm：0.53~0.56m^3/m^3、ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ 65 cm：0.52~0.54m^3/m^3

大半の工場が上記による標準値の範囲を満足しているが、数工場で使用材料の組合せに起因するワーカビリティー確保から、上記標準値の範囲を外れる単位粗骨材かさ容積を採用している。

（３）単位混和剤量

高性能 AE 減水剤および高性能減水剤は、減水効果が大きく、添加率の増加により、単位水量が一定でも流動性を大幅に高められる。しかし、添加率が多すぎると凝結が遅れる傾向があり、冬期の施工に支障を来たすこともある。逆に少なすぎると流動性の経時低下が大きく、施工時のワーカビリティーを確保できない。



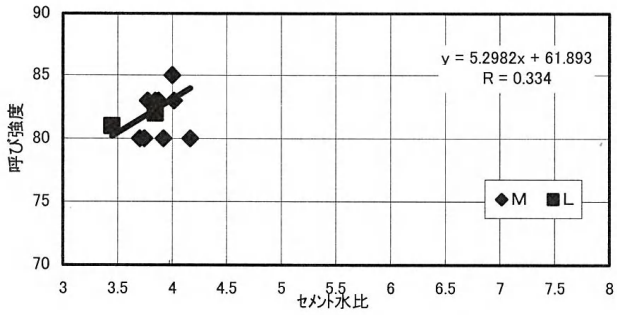
図―1　セメント・混和剤種類の相違による添加率と呼び強度の関係

従って、混和剤メーカ推奨値を参考に、室内試し練り・実機によりワーカビリティーを確認し、添加率を決定している。また、効果は気温により影響を受けるため、施工期間が長期の場合には、気温の変化に応じ添加率を調整する必要がある。

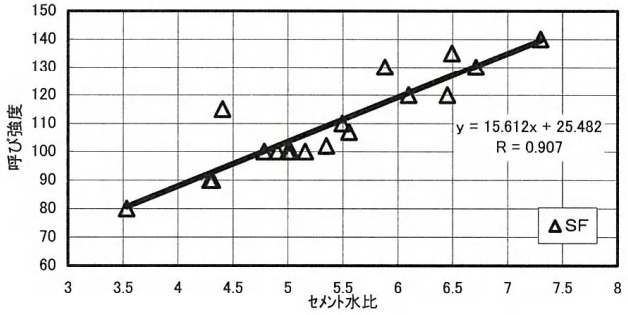
調査結果によるセメント種類・混和剤種類と添加率の関係は、**図－１**の通りである。添加率は、M・L および VK は、一点を除き、いずれの呼び強度も最大値と最小値の差が 0.5%程度の範囲内にあるのに対し、SF および SFP は、最大値と最小値の差が大きく、呼び強度によっては 1%以上の差がある。

（４）セメント水比と呼び強度の関係

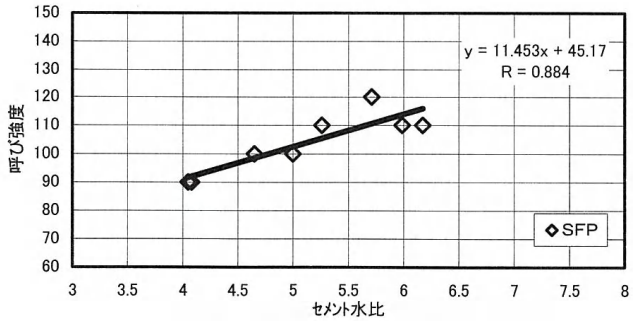
調査結果でのセメント種類によるセメント水比（以下、C/W という）と呼び強度の関係は、**図－２～５**の通りである。



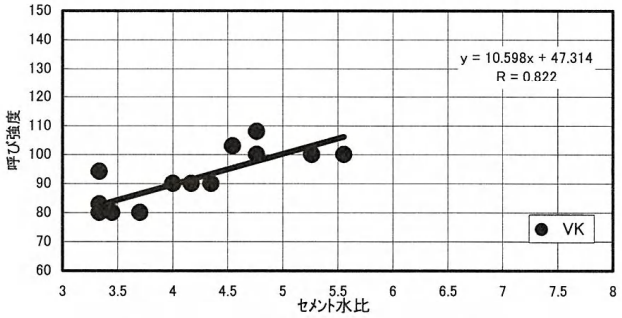
図―2　セメント水比と呼び強度の関係（M, L）



図―3　セメント水比と呼び強度の関係（SF）



図―4　セメント水比と呼び強度の関係（SFP）



図―5　セメント水比と呼び強度の関係（VK）

M・L は呼び強度の範囲が 80～85 と狭く、かつ、メーカ間の物性値による差の影響か、C/W と呼び強度との相関係数は 0.334 と非常に低い値である。SFP は呼び強度の範囲が 90～115、VK は呼び強度の範囲が 80～105 と M・L に比べ、若干広い範囲で使用されている。一方、SF は上記セメントの呼び強度の範囲を網羅し、80～140 と広範囲に亘っている。また、SF・SFP・VK は、M・L と異なり、メーカが限定される影響か、C/W と呼び強度との相関係数は 0.8 以上と高い値である。

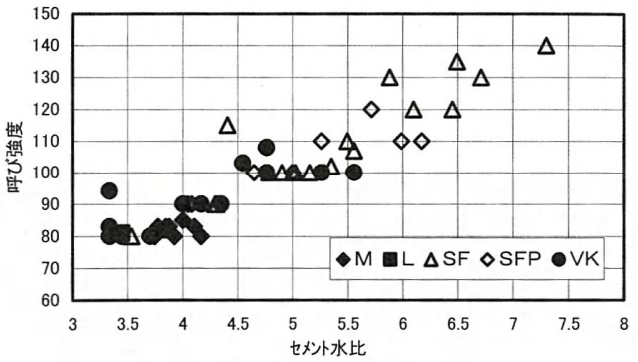
２．２　製造

（１）材料の選定

a. セメント

セメントの種類による C/W と呼び強度の関係は、**図－６**の通りである。

M・L は C/W4.2 まで、VK は C/W5.6 まで、SFP は C/W6 までに対し、SF は C/W3.5～7.3 と広範囲で使用されている。



図－６　セメントの種類による
セメント水比と呼び強度の関係

b. 細骨材

普通コンクリートに通常使用されている山砂、山砂＋砕砂、陸砂＋砕砂が大半を占め、呼び強度 100 超えの粗骨材にある岩種の変更はない。

c. 粗骨材

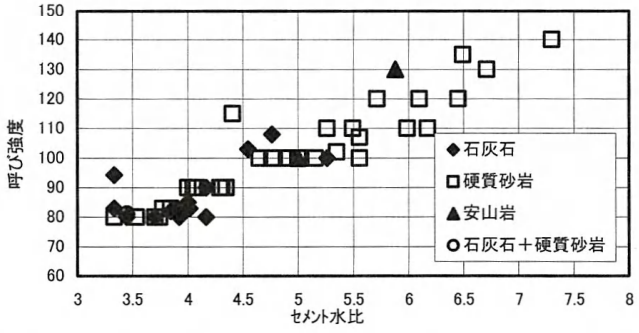
粗骨材の種類による C/W と呼び強度の関係は、**図－７**の通りである。

C/W5.3 までは石灰石と硬質砂岩が、C/W5.3 以上では硬質砂岩、一部に安山岩が使用されている。

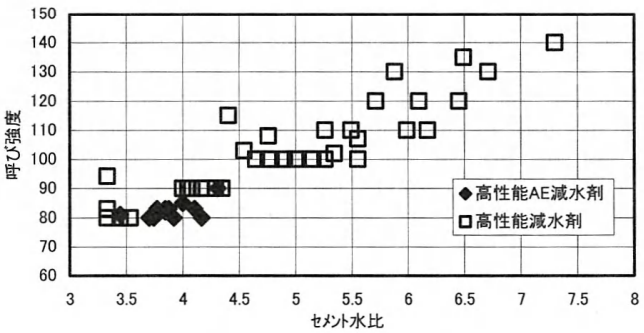
d. 混和剤

混和剤の種類による C/W と呼び強度の関係は、**図－８**の通りである。

高い C/W での粉体量増加を避けるため、高性能 AE 減水剤は C/W4.2 まで、高性能減水剤は C/W3.3～７超えと広範囲で使用されている。これは、**２．１（１）**の強度優先によるものと考える。



図―7　粗骨材の種類によるｾﾒﾝﾄ水比と呼び強度の関係



図－８　混和剤の種類によるｾﾒﾝﾄ水比と呼び強度の関係

（２）室内試し練り

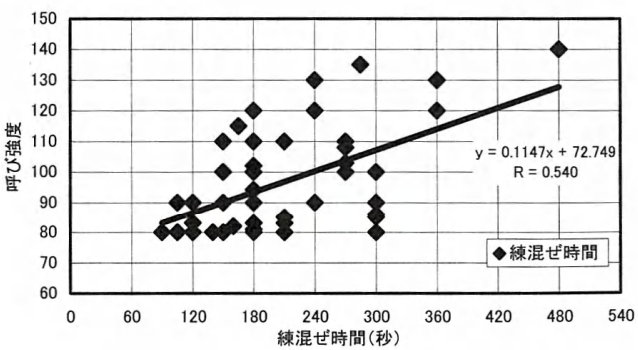
モルタル先行練りが圧倒的に多く、以下の練混ぜ方法を採用している。

- 12 工場：セメント＋細骨材＋水（混和剤）：120～150 秒練り→粗骨材：60～150 秒
- 4 工場：セメント＋細骨材：5～30 秒→水（混和剤）：60～180 秒→粗骨材：60～120 秒
- 1 工場：セメント＋細骨材＋粗骨材：15 秒→水（混和剤）：100 秒

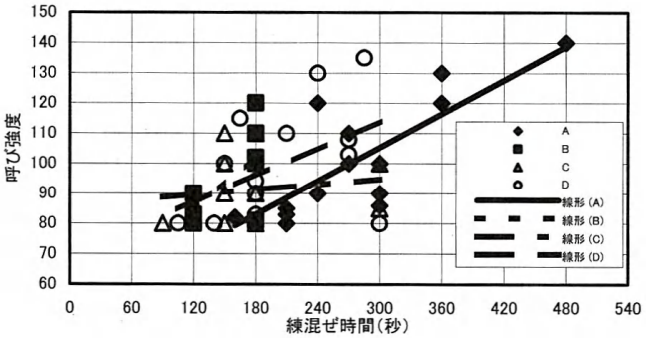
（３）実機

練混ぜ時間と呼び強度の関係は**図－９**、プラントメーカと練混ぜ時間の関係は**図－10**、混和剤銘柄と練混ぜ時間の関係は**図－11** の通りである。

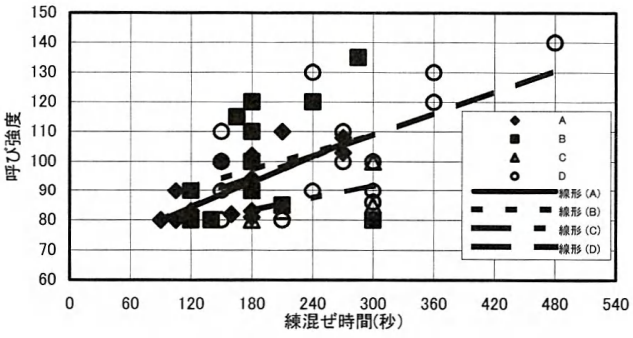
呼び強度が大きくなると、練混ぜ時間が長くなり、殆どの工場でモルタルを先行練りしたのち粗骨材を投入している。粗骨材投入後の時間は強度に関係なくほぼ同じであった。



図－９　練混ぜ時間と呼び強度の関係



図－10 プラントメーカによる
練混ぜ時間と呼び強度の関係

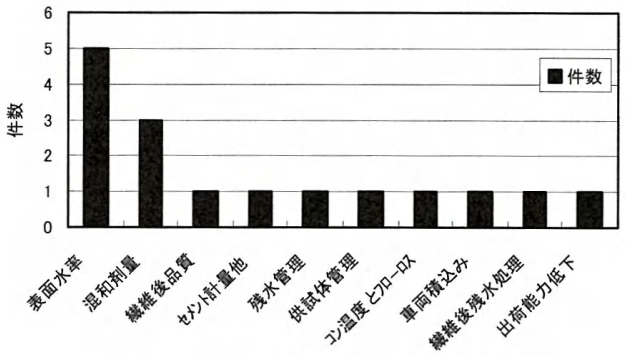


図－11 混和剤銘柄による
練混ぜ時間と呼び強度の関係

混和剤銘柄とプラントメーカとの練混ぜ時間の差の有無を確認したが、明確な差はなかった。

（4）品質管理上の留意事項

品質管理上の留意事項は、**図－12** の通りである。



図－12 品質管理上の留意事項

表面水管理によるものが全体の 3 分の 1 を、次いで混和剤量となっている。いずれも練り上がり時のフレッシュ性状に共通するものであり、骨材の変動・コンクリート温度の変動・運搬時間の変動などを適切に把握し、練り上がり時のフレッシュ性状をコントロールし、荷卸し時の品質を確保する必要がある。

（5）その他

その他の留意事項は、以下の通りであり、SF の取扱いに関するものが多かった。

- SF ミキサ投入時の対応：比表面積が大きいことから吸引防止のため、集塵機を停止
- SF 圧送時の対応：比表面積が大きいことから閉塞防止のため、配管の曲がりをなくし、補助エアーを設置
- 繊維混入時品質の対応：繊維混入によるフレッシュ性状の変動を把握し、品質を確保
- ミキサ内部付着の対応：次バッチ練混ぜのコンクリートへの影響を把握し、品質を確保

3．まとめ

超高強度コンクリートの製造管理手法は、従来の方法を一新したものではないが、製造に関わる技術者一人一人がコンクリートの管理に対して真摯に取り組まなければ、達成できない手法である。

調査結果によれば、顧客主体で材料の種類および調合が決定されているケースが大半であるが、超高強度コンクリートの製造に当っては、材料受入基準値の設定、骨材の選定、細骨材表面水の安定化対策、コンクリート温度 35℃上限の撤廃、運搬時間上限 90 分の撤廃、ミキサ電力とスランプフローの関係把握などに留意し、本来は組合員工場が主体となり技術的検討を行い、資料を作成し、調合設計を行い、製品の安定化はもちろんのこと、納入の安定化にも努めなければならない。

今回取り纏めた資料により、使用材料・調合および製造方法に関する管理手法が組合員間で水平展開され、強度特性の他、施工性、収縮特性、耐久性等、様々な要素を満足する呼び強度 80 以上の超高強度コンクリートの製造への参考となり、更に組合員への普及に寄与することを期待する。

参考文献

1） 日本建築学会：高強度コンクリート施工指針(案)・同解説、pp.110 解説表 4.3・112 解説表 4.5